

# 건물에너지 해석프로그램을 이용한 공공기관 업무용건물 에너지성능 개선을 위한 사례연구

글 / 한국건설기술연구원 수석연구원 송수원

## 1. 서론

최근 정부에서는 신축건물에 대한 에너지총량 성능기준의 도입 및 기존건물의 온실가스/에너지 목표관리제 추진 등 각종 관련기준을 강화함으로써 건물부문의 에너지이용합리화를 위해 노력을 기울이고 있다. 특히 일정규모의 공공건물 업무시설을 신축하는 경우에는 건물에너지효율 1등급을 취득하고, 기존건물의 경우에는 에너지 진단 및 ESCO사업을 의무화하고 있다.

에너지효율적인 건물을 신축하거나 기존건물을 개수하기 위해서는 대상건물의 에너지소비에 영향을 미치는 요소를 면밀히 분석하고, 연간에너지소요량 또는 비용의 관점에서 최적의 대안을 찾아가는 일련의 과정이 필요하며, 이를 위해서는 건물에너지에 영향을 미치는 기후요소, 건물 및 시스템, 그리고 사용자/운영을 포함한 다양한 요소들의 상호관련성을 종합적으로 평가할 수 있는 건물에너지 해석프로그램의 활용이 필수적이다.

건물에너지 해석프로그램을 활용하여 건물의 연간에너지소요량 또는 에너지비용을 분석하고 건물 에너지 성능을 인증하는 제도는 선진 외국에서는 이미 활성화 단계에 있으나, 국내의 경우에는 정부의 건물에너지효율등급 인증제도와 관련하여 업무용건물의 총에너지소요량을 1차에너지 기준으로 규정하고 있지만 아직까지 구체적인 건물에너지 성능평가방법 및 적용사례가 미흡한 실정이다.

신축건물의 에너지성능에 대한 대표적인 평가 방법은 미국의 US Green Building Council(USGBC)에서 주관하는 Leadership in Energy and Environmental Design(LEED)에서 채택하여 사용하고 있는 ASHRAE Standard 90.1의 “Performance Rating Method(PRM)”를 들 수 있다. ASHARE Standard 90.1의 건물에너지 성능평가방법은 대상건물의 건축 및 설비시스템의 특성에 따라 구체적인 성능기준 및 평가방법을 제시하고 있으며, 일정 수준 이상의 건물에너지 해석프로그램을 활용하여 기준건물(Baseline Design)과 대상건물(Proposed Design)의 에너지성능을 비교하여 평가하도록 하고 있다. 이와 관련하여 USGBC의 LEED의 경우에는 실제 대상건물에 적용되는 에너지원별 효율을 바탕으로 연간 총에너지비용의 관점에서 건물에너지 성능을 평가하고 있다.

한편, 기존건물의 경우에는 IPMVP(International Performance Measurement & Verification) 및 ASHRAE Guideline 14에서 구체적인 건물의 에너지성능 측정 및 평가방법을 제시하고 있으며, 미국 정부에서는 FEMP(Federal Energy Management Program) 및 ESPC(Energy Savings Performance Contract) 등을 통하여 에너지개수(Retrofits) 및 커미셔닝을 통한 지속적인 에너지 절감 사업을 추진하고 있다. 또한, IPMVP-Volume III에는 신축건물이 완공된 후에 에너지 성능을 측정하고 평가하는 방법을 제시하고 있으며 적용사례를 소개하고 있다.

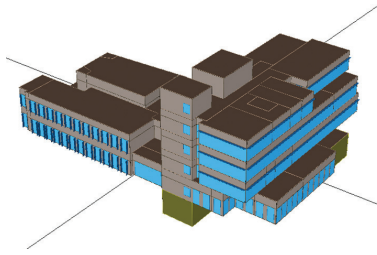
본고에서는 H사의 신축 예정인 업무용 건물의 실시설계를 바탕으로 건물에너지 성능 개선에 대한 사례연구를 수행하였으며, 이를 위하여 동적건물에너지해석 프로그램인 eQUEST 3.64(DOE-2.2 version)을 활용하여 대상건물의 실시설계에 대한 냉/난방 최대부하 특성 및 설비요소별 에너지소비 특성을 분석하고, 이를 바탕으로 실제 적용 가능한 건축 및 설비요소에 대한 에너지절감 효과를 연간에너지소요량 및 초기투자비의 관점에서 대상건물의 에너지성능 개선방안을 제안하고자 한다.

## 2. 사례연구 대상건물

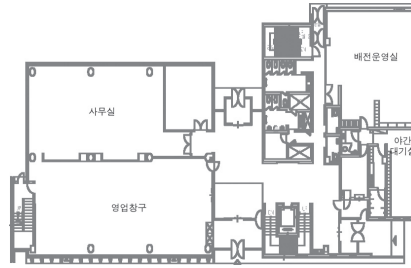
본 연구의 대상건물은 경기도 부천에 신축 예정인 H사의 업무용 건물로서 지하 1층, 지상 5층의 철근콘크리트 구조물로 이루어져 있으며 연면적은 3,920m<sup>2</sup> 이고 공조면적은 2,853m<sup>2</sup>이다. 대상건물의 외피는 약 34%가 로이복층유리로 되어 있으며, 남측에는 수평차양을 서측에는 수직차양이 설치하도록 되어 있다. 건물의 주요 냉/난방시스템은 지열히트펌프와 공랭식히트펌프로 구성되었으며, 환기의 대부분은 외기조화기가 각 실별 최소환기량을 공급하는 방식을 채택하고 있다. 이와 관련하여 [표 1]은 대상건물의 건축 및 시스템 개요를 나타내고 있으며, [그림 1]은 대상건물의 에너지해석을 위한 eQUEST 3.64 프로그램의 3차원 시뮬레이션 모델을 보여주고 있으며, [그림 2]는 대상건물의 1층 평면도를 나타내고 있다. 본 연구의 시뮬레이션을 위한 기상파일은 Test Reference Year (TRY) 형식의 태양에너지학회 인천지역 기상파일을 활용하였다.

[표 1] 대상건물 개요

구분	내용	비고
건물위치	부천	위도 37.52 N
용도	업무시설	
규모	지하 1층 ~ 지상 5층	
구조	철근콘크리트 구조	
연면적	3,920 m <sup>2</sup>	건축면적(1,380 m <sup>2</sup> )
공조면적	2,853 m <sup>2</sup>	급탕면적(1,744 m <sup>2</sup> )
창면적비	34 %	
냉/난방시스템	지열 및 공기열 EHP	
환기시스템	외기조화기	히트펌프(EHP)



[그림 1] 대상건물 에너지해석모델 (eQUEST 3.64)



[그림 2] 대상건물 1층 평면도

대상건물의 시뮬레이션을 위한 건물외피의 성능은 크게 외벽, 지붕 그리고 바닥 구조체의 평균 열관류율을 기준으로 하였으며, 창호의 성능은 프레임을 포함하는 평균열관류율, 차폐계수, 가시광선 투과율을 기준으로 설정하였다. [표 2]는 대상건물의 실시설계 조건의 구조체 및 창호의 성능을 나타내고 있으며 정부의 중부지방 에너지절약 설계기준을 만족하고 있음을 알 수 있다.

대상건물의 내부발열조건은 [표 3]과 같이 재실밀도, 기기밀도 및 조명밀도로 구분하였으며, 재실밀도와 기기밀도는 실시설계의 부하계산서에 기초하여 입력하였으나 조명밀도의 경우, 실제 실시설계 도면을 바탕으로 각 실의 조명의 유형, 개수 및 면적을 바탕으로 산출하였다. 또한, 재실·조명·기기 및 급탕의 운전스케줄은 eQUEST 3.64 프로그램에서 제공하는 일반적인 업무용건물의 정상적인 운영조건을 반영하였다. 대상건물의 실별 조닝은 실시설계 냉/난방 공조시스템 조닝과 동일하게 작성하였으며, [표 4]는 용도별 실내 온/습도 설정조건 및 설비시스템의 운영시간을 요약하여 나타내고 있다.

[표 2] 건물외피의 열특성

구분	실시설계	에너지절약 설계기준(중부)	비고
열관류율 (W/m <sup>2</sup> ·K)	외벽	0.42	열반사 단열재
	지붕	0.21	
	바닥	0.46	
차폐계수	2.39	3.40	로이칼라 복층유리
가시광선	창호	0.53	
		0.50	

[표 3] 실별 내부발열밀도

구분	재실밀도 (W/m <sup>2</sup> )	기기밀도 (W/m <sup>2</sup> )	조명밀도 (W/m <sup>2</sup> )	비고
사무실	0.2	20	13.9 (평균값)	고효율 형광등
주방/식당	0.7	20		
통신실	0.2	60		

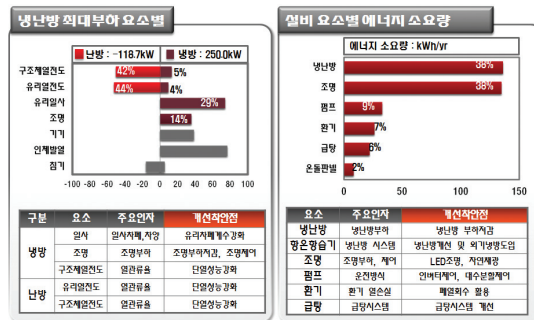
[표 4] 시스템운영 및 실내 온/습도 조건

구분	운영 시간	실내 온/습도 조건			비고
		냉방(°C)	난방(°C)	습도(%)	
사무실/업무시설	10 hr	26	20	-	주말제외
배전운영실/야간대기실	24 hr	26	20	-	-
통신실	24 hr	23	23	50	항온항습
강당	4 hr	26	20	-	주2회 공조
창고	2 hr	-	-	-	주1회 공조

### 3. 에너지해석 결과 및 분석

#### 3.1 냉/난방 최대부하 및 에너지소요량 분석

건물의 냉/난방 최대부하는 일반적으로 설비시스템의 용량을 산정하기 위하여 필요하지만 건물의 부하특성을 파악하고 개선방향을 도출하기 위한 기초자료로 사용되어질 수 있다. [그림 3]은 대상건물의 냉/난방 최대부하 구성요소 및 설비요소별 에너지소요량을 보여주고 있다. 대상건물의 최대부하는 냉방이 249.83kW로 나타났으며 난방이 118.69kW로 나타났으며, 냉방최대부하 구성요소는 재실(31%), 창호의 일사(29%), 기기(15%), 조명(14%)의 순서로, 난방최대부하 구성요소는 유리의 전도(44%), 구조체의 전도(42%), 침기(14%) 순서로 나타났다. 이와 관련하여 대상건물은 냉방 최대부하를 줄이기 위해서는 우선적으로 창호를 통한 일사의 영향을 차단하고 재실, 기기 및 조명으로 인한 내부발열밀도를 줄이는 방안이 요구되며 난방 최대부하의 경우 창호와 구조체의 단열을 1차적으로 고려할 필요가 있는 것으로 나타났다. 한편, 대상건물의 설비 요소별 에너지소요량을 살펴보면 냉/난방(38%) 및 조명(38%)에 소요되는 에너지가 동일한 수준으로 전체의 76%를 차지하고 있음을 알 수 있으며, 기타 펌프(9%), 환기(7%), 급탕(6%), 및 전기 온돌판넬(2%) 순으로 나타나고 있다. 따라서 냉/난방 관련 공조 설비의 일부 교체 및 운전방법의 개선을 통하여 2차적으로 시스템의 운영 효율을 향상 시킬 수 있는 방안이 필요한 것으로 나타났다.



[그림 3] 대상건물 최대부하 및 에너지소요량 분석

### 3.2 주요 설계요소의 대안별 분석

본 연구에서는 대상건물의 창호와 조명제어, 구조체의 단열, 그리고 냉/난방 설비시스템의 주요 설계요소에 대하여 실제 적용 가능한 대안별 연간에너지소요량을 분석하였다.

#### 1) 창호의 대안별 분석

창호의 경우는 열관류율, 차폐계수, 가시광선투과율의 조합에 따라 5가지의 유형으로 구분하고, 조명에 대한 주광제어의 유/무에 따라 총 10가지 경우를 대상건물에 적용하였다. 결과적으로 조명의 주광제어의 유무에 따라 대상건물의 연간에너지소요량이 크게 두 개의 그룹으로 나누어졌다[표 5]. 주광제어를 적용하지 않았을 경우, 고효율 로이삼중유리(Case4)가 5.9%의 절감율을 나타냄으로써 가장 효과적인 것으로 나타났으나 주광제어를 적용할 경우, 가시광선 투과율이 상대적으로 좋은 삼중로이코팅 복층유리(Case8)가 조명에너지의 절감을 포함하여 21%의 절감효과가 나타남으로써 가장 효과적으로 나타났다. 따라서, 건물의 연간에너지소요량의 관점에서 보면 창호의 성능은 열관류율을 뿐만 아니라 차폐계수, 가시광선투과율과 조명의 주광제어를 함께 고려하는 것이 중요한 것으로 나타났다.

[표 5] 창호의 대안별 연간에너지소요량

구분	창호		조명 주광 제어	에너지 소요량 (MWh/yr)	절감율 (%)	구분	조명 주광 제어	에너지 소요량 (MWh/yr)	절감율 (%)	
	내용	성능								
As-ls	로이칼라 복층 (T22)	열관류율	2.39	없음	351.90	-	Case5	자동제어	298.29	15.2
		차폐계수	0.53							
		가시광선	0.50							
Case1	더블로이 복층(T22)	열관류율	2.26	없음	330.09	5.3	Case6	자동제어	285.22	18.9
		차폐계수	0.23							
		가시광선	0.28							
Case2	삼중로이 코팅복층 (T24)	열관류율	1.81	없음	331.69	5.7	Case7	자동제어	278.72	20.8
		차폐계수	0.27							
		가시광선	0.48							
Case3	삼중로이 코팅복층 (T24)	열관류율	1.81	없음	332.47	5.5	Case8	자동제어	278.15	21.0
		차폐계수	0.32							
		가시광선	0.64							
Case4	고효율 로이삼중	열관류율	1.53	없음	331.23	5.9	Case9	자동제어	289.20	17.8
		차폐계수	0.33							
		가시광선	0.52							

#### 2) 구조체의 대안별 분석

구조체의 경우에는 기본적으로 구조체의 축열성능과 단열성능이 건물의 냉/난방 부하에 영향을 미치는 요소이지만 본 연구에서는 대상건물의 축열성능은 일반적인 콘크리트구조물의 수준에서 일정하다고 가정하였으며, 구조체에 적용되는 단열재의 유형에 따라 7가지의 경우로 구분하여 대상건물

의 연간에너지소요량을 분석하였다. 결과적으로 실시설계에 적용된 열반사단열재 대신에 경질우레탄보드(Case1)를 적용할 경우 대상건물의 연간에너지소요량은 1% 절감효과가 나타났으며, 압출보호판과 로이단열재를 20% 강화한 경우에는(Case6) 연간에너지소요량이 최대 2.9% 절감효과가 나타났다. 따라서 대상건물의 경우 실시설계 조건(정부 에너지절약설계기준) 이상으로 구조체의 단열을 강화할 경우에도 연간에너지 절감효과는 크지 않은 것으로 나타났다. 이와 관련하여 [표 6]은 대상건물의 구조체의 단열성능에 따른 연간에너지소요량을 나타내고 있다.

[표 6] 구조체의 대안별 연간에너지소요량

구분	내용	구조체 열관류율(W/m <sup>2</sup> )			에너지소요량(MWh/yr)	절감율 (%)
		벽체	지붕	바닥		
As-is	열반사 + 압출보온판	0.42	0.21	0.46	351.90	-
Case1	경질우레탄 보드	0.32	0.20	0.40	348.49	1.0
Case2	경질우레탄보드(20%강화)	0.28	0.14	0.28	343.04	2.5
Case3	압출보온판	0.35	0.18	0.39	349.05	0.8
Case4	압출보온판 (20%강화)	0.27	0.16	0.31	343.78	2.3
Case5	압출보온판 + 로이단열재	0.32	0.16	0.32	345.91	1.7
Case6	압출보온판 + 로이단열재(20%강화)	0.25	0.14	0.27	341.60	2.9

### 3) 냉/난방 설비 대안별 분석

대상건물의 냉/난방 설비시스템은 기존의 설계안을 바탕으로 적용 가능한 대안을 선정하고, 이에 따른 연간에너지소요량을 분석하였으며 [표 7]에 그 결과를 나타내고 있다. 급탕시스템의 경우, 지열순환펌프가 냉/난방을 위한 지열히트펌프와 연결되어 있어 불필요한 소비동력의 낭비가 예상되었다. 따라서 전기온수기를 적용하고 개별제어를 수행할 경우에 연간에너지소요량이 3.1% 감소하는 효과가 나타났다. 또한, 지열히트펌프시스템에서 지열순환펌프에 (19kW\*2) 인버터를 적용할 경우에(최소 30% 가동 조건) 연간 2%의 에너지절감 효과가 나타났으며, 지열순환펌프를 소형으로 (1.5kW\*5) 교체 후 대수를 분할하여 운전할 경우에는 연간 1%의 에너지절감 효과가 나타났다.

한편, 대상건물의 중앙환기시스템인 외기조화기에 배열회수시스템(효율70%) 적용할 경우에 8%의 절감효과가 나타났으며, 일부 구역에 기존의 배기팬을 제거하고 전열교환기(효율70%)를 설치하고 CO<sub>2</sub>제어를 적용할 경우에 연간 9.7%의 에너지절감 효과가 나타났다. 이는 전열교환기의 효율도 중요하지만 기존의 배기팬의 소비동력의 제거와 CO<sub>2</sub> 제어를 통한 풍량감소에 기인한 것으로 판단된다. 대상건물의 통신실의 경우에는 실시설계 당시 향온습기를 설치하여 실내 온/습도를 일정하게(설정온도 23C, RH 50%) 유지하도록 하였으나, 통신장비의 경우에는 향온습기가 절대적으로 필요하지 않다고 판단하여 통신실에 히트펌프를 적용함으로써 연간 0.2%의 에너지절감 효과가 나타났다. 또한, 통신실에 외기냉방제어를 실시할 경우 연간에너지소요량이 0.6% 감소함으로써 통신장비로(60W/m<sup>2</sup>) 인하여 연중 발생하는 냉방부하를 줄이는 방안으로 외기냉방이 효과가 있는 것으로 나타났다.

결과적으로 대상건물의 설비시스템에 대한 대안별 연간에너지 절감효과는 개별환기에 전열교환기 적용

(9.7%), 중앙환기시스템인 외기조화기에 전열교환기 적용(8%), 급탕 전기온수기 독립 적용(3.1%), 지열 순환펌프 인버터 적용(2%) 또는 지열순환펌프 대수분할 운전 적용(1%), 그리고 통신실에 히트펌프 및 외기냉방 적용(0.6%) 순으로 나타났다.

[표 7] 설비요소 대안별 연간에너지소요량

구분	항목	에너지소요량(MWh/yr)	절감율(%)	
실시 설계	지열 HP	351.9	-	
	정속펌프			
	외기조화기			
	배기팬			
	환온환습기			
대안	급탕설비	전기온수기	341.04	3.1
	지열순환펌프	인버터	344.95	2.0
		대수분할	348.40	1.0
	중앙환기	배열회수 외기조화기	324.64	8.0
	개별환기	전열교환기	317.63	9.7
	통신실 냉난방설비	히트펌프	351.03	0.2
		HP+외기냉방	349.66	0.6

### 3.3. 개선모델의 에너지절감 및 초기투자비 분석

본 연구는 대상건물의 최대부하 분석 및 주요설비의 에너지소요량을 분석하고, 적용 가능한 건축 및 설비시스템의 대안별 분석을 통하여 대상건물의 에너지소요량을 최대한 절감할 수 있는 개선모델을 도출하였으며, 일부 초기투자비에 비하여 적용효과가 크지 않는 요소는 제외하였다[표 8].

개선모델에 적용된 대안요소를 살펴보면 먼저, 조명은 기존의 고효율형광등(평균 13.9 W/m<sup>2</sup>)을 LED(평균 7.73 W/m<sup>2</sup>)로 100% 교체하고 주광제어(최소 30%제어, 조도 400 Lux 기준)를 적용할 경우에 연간 26%의 에너지절감 효과가 나타났으며, 초기투자비는 21.2%(100,692천원) 증가하였다. 창호의 경우는 조명과 창호의 상호작용으로 인한 에너지절감 효과가 최대가 되도록 로이칼라복층유리를 삼중로이복층유리로 교체하였으며, 이를 통하여 연간 에너지소요량은 5.5% 감소하였으나 초기투자비는 18.9%(89,518천원) 증가하였다. 차양은 설치하지 않을 경우, 연간에너지소요량이 6.3% 증가하지만 초기투자비는 15.0%(71,000천원) 감소하는 것으로 나타났으며, 창호를 삼중로이복층유리로 교체하면 차폐계수가 0.53에서 0.32로 개선되어 차양을 통한 에너지절감 효과가 줄어들 것으로 예상되어 차양은 설치하지 않는 것으로 하였다. 구조체의 단열은 기존의 열반사단열재와 압출보온판 단열재를 경질우레탄보드(20% 강화)로 교체할 경우, 연간 2.5%의 절감효과가 나타났으며 초기투자비는 11.0%(52,066천원) 증가하였다.

한편, 냉/난방 설비시스템의 경우, 기존의 지열순환펌프(7.5kW\*2대)를 소형으로(1.5kW\*5대) 교체하고 대수분할 운전을 수행할 경우, 연간에너지소요량이 1% 감소하고 초기투자비도 0.4%(1,684천원) 감소하는 것으로 나타났다. 또한, 지열순환펌프에 인버터를 적용할 경우에 연간 2% 에너지절감 효과가 나타났으나 초기투자비는 1.6%(7,704천원) 증가하였다.

[표 8] 대상건물 주요설계 요소에 대한 연간에너지 절감(율) 및 초기투자비

구분	실시설계			개선모델			연간에너지 절감율 (%)	초기투자비 증가 (천원)	비고
	적용요소	초기투자비 (천원)	에너지 소모량 (MWh/yr)	적용요소	초기투자비 (천원)	에너지 소모량 (MWh/yr)			
창호	로이칼라 복층 (T22)	110,481	351.9	삼중로이코팅 복층 (T24)	199,999	332.5	5.5	89,518 (18.9%)	Case3
단열재	열반사단열재 + 압출보온판	81,710		경질우레탄보드 (20%강화)	133,776	343.0	2.5	52,066 (11.0%)	Case2
차양	설치	71,000		미설치	-	374.0	-6.3	-71,000 (-15.0%)	제외
조명	고효율 형광등	104,919		LED100% + 주광제어	205,611	258.7	26.0	100,692 (21.2%)	Case8
급탕	지열 HP	20,587		전기온수기	3,000	341.0	3.1	-17,587 (-3.7%)	-
중앙환기	외조기	66,330		배열회수 외조기	50,490	324.6	8.0	-15,840 (-3.4%)	-
개별환기	배기팬	1,394		전열교환기	3,000	317.6	9.7	1,606 (0.3%)	-
통신실공조	항온항습기	7,900		히트펌프	3,354	351.0	0.2	4,546 (-1.0%)	-
				외기냉방적용	13,000	349.7	0.6	13,000 (2.7%)	-
지열순환 펌프	정속펌프	9,656		대수분할	7,972	348.4	1.0	1,684 (-0.4%)	-
			인버터적용	17,360	345.0	2.0	7,704 (1.6%)	제외	
소계 (천원)		473,977	-	-	620,202	-	-	146,225 (30.9%)	-

따라서 대상건물의 기계실 면적이 여유가 있으며 순환펌프의 개별제어 특성을 고려하여 인버터는 적용하지 않는 것으로 하였다. 급탕의 경우는 오히려 전기온수기를 사용하여 독립적으로 제어하는 것이 연간 3.1%의 에너지절감에 효과가 있는 것으로 나타났으며 초기투자비도 3.7%(17,587천원) 감소하는 것으로 나타났다.

환기시스템의 경우, 기존의 외기조화기를 배열회수일체형 시스템으로 교체하면 연간에너지소요량이 8.0% 감소하고 초기투자비도 3.3%(15,840천원) 감소하는 것으로 나타났다. 개별환기는 기존의 배기팬을 제거하고 전열교환기를 설치할 경우에 연간 9.7%의 에너지절감 효과가 나타났으며 초기투자비도 0.3%(1,606천원) 감소하였다.

통신실은 항온항습기 대신에 히트펌프를 설치할 경우에 연간 0.2%의 에너지절감 및 초기투자비 1.0%(4,546천원) 감소효과가 나타났다. 또한, 외기냉방을 적용할 경우, 연간 0.6%의 에너지절감 효과가 나타났으나 초기투자비는 2.7%(13,000천원) 증가하였다. 결과적으로 개선모델은 실시설계 대비 연간 48.8%의 2차에너지 절감효과가 있는 것으로 나타났다

### 3.4. 개선모델의 에너지효율등급 분석

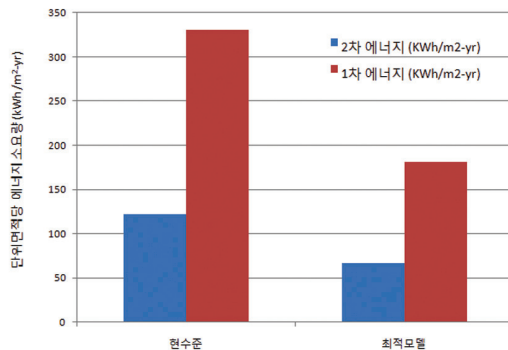
본 연구에서는 대상건물의 에너지성능을 평가하기 위하여 정부의 건물에너지효율등급 평가기준을 바탕으로 대상건물의 실시설계 및 개선모델에 대한 연간에너지소요량을 난방, 냉방, 급탕, 조명, 환기시스템의 용도별로 구분하여 산출하였으며, 기기의 에너지소요량은 제외하고 에너지성능평가를



수행하였다. 한편, 대상건물의 야간대기실에 설치된 전기온돌판넬은 프로그램의 제약으로 별도로 연간에너지소요량을 추정하여(8,130 kWh/yr) 실시설계 및 개선모델의 연간 난방에너지소요량에 동일하게 반영하였다. 이와 관련하여 [그림 4]은 대상건물의 실시설계와 개선모델의 1차에너지소요량과 2차에너지소요량을 비교하고 있다.

대상건물의 단위면적당 2차에너지소요량은 연간에너지소요량에서 대상공간의 용도별 바닥면적으로 나누어 산출하였으며, 단위면적당 1차에너지소요량은 전기의 1차에너지 환산계수(2.7)를 곱하여 산출하였다. 결과적으로, 대상건물의 개선전 실시설계에 대한 연간 총에너지소요량은 538,500 kWh/yr로 나타났으며 기기의 에너지소요량(178,470 kWh/yr)을 제외하면 360,030 kWh/yr로 나타났다. 이를 단위면적당 1차에너지로 환산하면 330.76 kWh/m<sup>2</sup>·yr으로 나타남으로써 정부의 건물에너지효율 1등급 기준에 약간 미달되는 수준으로 나타났다.

하지만 본 연구에서 제시한 개선안을 적용한 결과, 개선모델의 연간 단위면적당 1차에너지소요량은 181.08 kWh/m<sup>2</sup>·yr 으로 개선전 대비 45.2%의 절감효과가 있는 것으로 나타났으며, 정부의 건물에너지효율 1등급 기준 (300 kWh/m<sup>2</sup>·yr) 대비 39.6%의 절감효과가 있는 것으로 나타났다. 따라서 본 연구의 에너지절약요소들은 대상건물의 에너지성능 개선에 효과적인 것으로 나타났으며, 유사한 부하특성을 나타내는 업무용건물의 에너지효율등급 개선에 선택적으로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.



[그림 4] 대상건물 실시설계(현수준) 및 개선모델의 연간에너지소요량

#### 4. 결론

본 연구에서는 H사의 신축 예정인 업무용건물을 대상으로 건물에너지효율등급 개선에 대한 사례연구를 수행하였으며, 대상건물의 냉/난방 최대부하 분석, 주요설비의 에너지소요량 분석, 그리고 적용 가능한 건축 및 설비요소에 대한 개선효과를 연간에너지소요량 관점에서 분석하고 다음과 같은 결과 및 결론을 도출하였다.

- 1) 대상건물의 냉/난방 최대부하는 일반적인 업무용건물과 유사한 부하특성을 나타내고 있으며, 건

물외피의 열손실에 의한 난방부하(118.69 kW) 보다는 창호의 일사열 획득 및 내부발열에 의한 냉방부하(249.83 kW)가 크게 나타났다. 따라서 우선적으로 창호를 통한 일사(29%)의 영향을 최소화하고 조명(14%)으로 인한 내부발열밀도를 줄이는 방안이 필요한 것으로 나타났다.

- 2) 창호의 경우 단열보다는 차폐계수를 강화하는 것이 에너지절감 효과가 크고 가시광선투과율은 주광제어 시에 영향이 있는 것으로 나타났다. 또한, 조명의 경우는 가능한 LED를 사용하여 조명 밀도를 줄이는 것이 효과적이지만 주광제어를 적용할 경우에도 유사한 효과가 나타났다. 구조체의 단열은 실시설계(에너지절약설계기준 이상)의 열관류율을 초과하여 단열을 강화하는 것이 연간에너지소요량 및 초기투자비의 관점에서 개선효과가 크지 않는 것으로 나타났다.
- 3) 지열히트펌프시스템의 경우 지열순환펌프에 인버터를 적용하거나 순환펌프의 대수를 분할하여 유량제어를 실시하는 것이 불필요한 순환펌프의 소비동력을 절감하고 전체적인 시스템의 효율을 개선하는 데 효과적으로 것으로 나타났다. 또한, 중앙 환기시스템의 경우 기존의 외기조화기를 배열회수일체형 시스템으로 교체하고, 개별환기 시스템의 경우 배기팬을 제거하고 전열교환기를 설치한 후 CO<sub>2</sub> 제어를 수행하면 에너지절감 뿐만 아니라 초기투자비의 관점에서도 효과적인 것으로 나타났다. 통신실은 높은 내부발열밀도로 연중 냉방부하가 나타남으로서 통신장비의 특성을 파악하여 향온습기 대신에 히트펌프를 설치하고 외기냉방을 적용할 경우 에너지절감에 효과적인 것으로 나타났다.

결과적으로 본 연구에서 제시한 대상건물의 에너지성능 개선안은 연간 단위면적당 1차에너지소요량(기기사용량 제외)이 181.08 kWh/m<sup>2</sup>·yr 으로 실시설계 (330.76 kWh/m<sup>2</sup>·yr) 대비 45.3%, 정부의 건물에너지효율 1등급 기준 (300 kWh/m<sup>2</sup>·yr) 대비 39.6%의 절감효과가 있는 것으로 나타났으며, 유사한 부하특성을 나타내는 공공기관의 업무용건물의 에너지효율등급 개선에 참고자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

아울러 건물이 완공된 후에도 실질적인 에너지절약 목표를 달성하기 위해서는 에너지모니터링 및 커미셔닝을 통한 지속적인 에너지관리와 성능 측정 및 평가(Measurement & Verification) 작업이 필요할 것으로 사료된다.

#### 참고문헌

1. 송수원, 건물에너지 모니터링 및 시뮬레이션을 활용한 신축건물의 에너지성능평가, 대한설비공학회 논문집, 20권, 3호, p.p. 155~166, 2008.
2. 송수원, 양희문, 이진호, 문유정, 건물에너지 해석프로그램을 이용한 공공기관 업무용건물 에너지효율등급 개선에 관한 사례연구, 대한건축학회 논문집, 27권, 11호, p.p. 381~391, 2011.
3. 지식경제부, 공공기관 에너지이용합리화 추진에 관한 규정, 2011.
4. ASHRAE, ASHRAE Standard 90.1-2007, 2008
5. 에너지관리공단, 건축물의 에너지절약 설계기준 해설서, 2010
6. Song, S. and Haberl, J. A Procedure for the Performance Evaluation of a New Commercial Building: Part I- Calibrated As-built Simulation, ASHRAE Transactions, Vol. 114(2), p.p. 375~388, 2008.
7. Song, S. and Haberl, J. A Procedure for the Performance Evaluation of a New Commercial Building: Part II- Overall Methodology and Comparison of Methods, ASHRAE Transactions, Vol. 114(2), p.p. 389~403, 2008.
8. Haberl, J. et. al., ASHRAE's Proposed Guideline 14P for Measurement of Energy and Demand Savings: How to determine what was really saved by the retrofit. Proceeding of the First International Conference for Enhanced Building Operations, Austin, Texas, July 16-19, 2001.